

## **La energía nuclear y la garantía de suministro (DT)**

*Juan E. Iranzo*

Área: Economía y Comercio Internacional  
Documento de Trabajo 31/2009  
09/06/2009

---

## La energía nuclear y la garantía de suministro (DT)

*Juan E. Iranzo\**

### **Resumen**

Actualmente, sobre todo en crisis, resulta fundamental disponer de un sector energético eficiente que permita mejorar nuestra competitividad al objeto de incrementar nuestro potencial de crecimiento, lo que permitiría reducir el tiempo de recesión y, sobre todo, abrir la posibilidad de un crecimiento futuro suficiente para crear, de nuevo, empleos netos.

### **La vulnerabilidad energética de España**

La economía española ha registrado un incremento sostenido generador de empleo desde 1995 hasta 2007. En efecto, la economía española ha crecido por encima del 3,2% anual acumulativo, lo que ha permitido crear más de 8,5 millones de empleos. Este proceso fue intensivo en consumo de energía, especialmente eléctrica, por su alta elasticidad-renta.

Actualmente, sobre todo en crisis, resulta fundamental disponer de un sector energético eficiente que permita mejorar nuestra competitividad al objeto de incrementar nuestro potencial de crecimiento, lo que permitiría reducir el tiempo de recesión y, sobre todo, abrir la posibilidad de un crecimiento futuro suficiente para crear, de nuevo, empleos netos.

La cobertura del consumo de energía primaria en España, a tenor de lo que se especifica en la Tabla 1, se basa principalmente en la utilización del petróleo y sus derivados, suponiendo en 2007 más de un 48% del total de energía primaria consumida. El lugar que ocupa el petróleo dentro de la energía primaria es endémico en nuestro país, aunque se debe resaltar que se ha reducido bastante desde el 73% que representaba sobre el total en 1975, y el 52,6% en el año 2002. Por otro lado, observamos un constante aumento en la utilización del gas natural, que ha pasado de ser el algo más del 14,57% del consumo en 2002 a tener una proporción del 21,5% en el año 2007, por lo que los hidrocarburos, cuyas producciones y precios están relacionados, representan cerca del 70% de nuestro balance de energía primaria.

---

*\* Director general del Instituto de Estudios Económicos y catedrático de Economía Aplicada.*

**Tabla 1. Consumo de energía primaria (Ktep)**

Año	Carbón	%	Petr	%	Gas Nat	%	Hidro	%	Nuclear	%	Total	Anua l %
2002	21.891	17,00	67.647	52,55	18.757	14,57	1.988	1,54	16.422	12,76	128.741	3,5
2003	20.174	15,22	69.313	52,30	21.254	16,04	3.533	2,67	16.125	12,17	132.519	2,9
2004	20.921	15,12	71.055	51,35	24.672	17,83	2.726	1,97	16.576	11,98	138.362	4,4
2005	21.183	14,92	71.786	50,55	29.120	20,51	1.682	1,18	14.995	10,56	142.013	2,6
2006	18.477	12,8	70.759	49,1	30.298	21,0	2.200	1,5	15.669	11,18	144.132	1,5
2007	20.236	13,8	70.848	48,3	31.602	21,5	2.341	1,6	14.360	9,8	146.779	1,8

Fuente: IEE, DGPEM (Dirección Gral. Política Energética y Minas).

En lo referente al consumo de energía final, los productos derivados del petróleo suponen un 57,1% de toda la energía final consumida en el año 2007, si bien hay que tener en cuenta que, al igual que ha pasado en el consumo de energía primaria, el peso de este componente ha ido disminuyendo desde el 74,4% que representaba en el año 1975 sobre el consumo total, pasando a ser del 62,2% en el año 2002, lo que demuestra un cambio sobre todo en los sectores transformadores.

La garantía de suministro en todo momento debe constituir el principal objetivo de la política energética. Sin embargo, el conjunto de la UE-25 viene experimentando una creciente dependencia energética, con la excepción de Dinamarca. Esta dependencia se ha visto incrementada por el aumento del consumo interno y también por la caída en la producción autóctona de energía de los países componentes de la Unión. La UE-25 manifestó una tasa de dependencia del 54,4% en 2006, frente al 53,1% en 2005, esto es, el 54% de las necesidades energéticas dependen directamente de las importaciones que se hacen desde países terceros, que no siempre tienen la estabilidad económica y política que permiten pensar en la inexistencia de problemas en lo referente al suministro.

España ha sido un país que ha mantenido una constante dependencia energética exterior, como consecuencia de la falta de recursos autóctonos necesarios para hacer frente a la ya conocida evolución económica del país. Este crecimiento económico que se ha venido experimentando en los últimos años ha incrementado la tasa de dependencia de manera sobresaliente, en concordancia con el aumento del consumo energético final para el desarrollo industrial del transporte y el uso doméstico. Como consecuencia, España se sitúa en una tasa de dependencia en torno al 81,4%, por el incesante aumento en el consumo final de electricidad, que ya a finales de 2006 se incrementaba un 3,2% respecto del año anterior, aun teniendo en cuenta la ligera reducción de las importaciones netas del 0,13% en relación al año 2005. Como se muestra en la Tabla 2, España es el cuarto país importador neto de energía en la UE-25, por detrás de Alemania, Italia y Francia, y, además, España se sitúa entre los ocho países más dependientes energéticamente, situándose por delante de ésta Chipre, Luxemburgo, Irlanda, Italia y Portugal.

**Tabla 2. Importaciones y tasa de dependencia (Mtoe)**

Países	Importaciones netas		Tasa de dependencia (%)	Consumo interior bruto (Toe/cápita)
	Mtoe	2006/2005 (%)		
UE-25	988,9	2,5	54,4	3,8
Alemania	215,5	-0,12	61,3	4,2
Dinamarca	-8,082	-22,5	-36,8	3,8
<b>España</b>	<b>123,8</b>	<b>-0,13</b>	<b>81,4</b>	<b>3,3</b>
Francia	141,7	-1,8	51,4	4,3
Italia	164,6	2,2	86,6	3,2
Chipre	2,9	5,5	102,5	3,4
Portugal	21,6	-11,6	83,1	2,4
Reino Unido	49,3	52,6	21,3	3,8
Letonia	3,2	5,8	65,7	2,0
Irlanda	14,2	4,1	90,9	3,7
Luxemburgo	4,7	0,8	98,9	10,0

Fuente: IEE, Eurostat.

Una vez estructurados estos datos se debe reflexionar sobre la situación, cada vez más deficitaria, del autoabastecimiento interno en España. Así, en la Tabla 3, se observa una disminución paulatina de la capacidad de autoabastecimiento, proveniente en parte del ya comentado crecimiento económico experimentado en el país, así como por el aumento del consumo privado en general y el uso mínimo de energías alternativas. Como se puede observar, ya en el año 2006 España se encontraba con un grado de dependencia superior al 80%.

**Tabla 3. Grado de autoabastecimiento (Ktep)**

	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidráulica	Nuclear	Resto	% var. total
2002	35,1	0,5	2,5	100	100	100	22,1
2003	35,4	0,5	0,9	100	100	100	22,1
2004	33,1	0,4	1,3	100	100	100	21,3
2005	31,3	0,2	0,5	100	100	100	19
2006	33,8	0,2	0,2	100	100	100	21,7
2007	29,0	0,2	0,0	100	100	100	20,9

Fuente: IEE, DGPEM (Dirección Gral. Política Energética y Minas).

En relación con el petróleo y el gas natural, España mantiene su dependencia importadora de países que no cuentan con una estabilidad política, económica y social aceptable. Esto presupone una elevada incertidumbre a la hora de tener cubiertas las necesidades requeridas para el consumo interno, lo que implica la necesidad de crear sistemas de reserva internos que puedan asegurar el abastecimiento lineal de las necesidades de este combustible. También hay que tener presente que España se abastece en mercados cartelizados o monopolísticos.

Los cárteles se fundamentan en un acuerdo explícito para fijar tanto los precios como los niveles de producción, dividiendo el mercado y compartiendo los beneficios, pudiéndose dar el hecho de no estar incluidas todas las empresas, en este caso países, productores del bien escaso. Además, el carácter internacional dota a este tipo de acuerdos con fuerza

vinculante para todos los firmantes. Otra de las razones del “éxito” de los cárteles proviene del hecho de no ser la demanda total del bien elástica con respecto a las fluctuaciones de su precio, además de intentar que la oferta de los productores no pertenecientes al cártel sea lo más inelástica posible respecto al precio del bien. Como consecuencia de lo anteriormente comentado, se puede afirmar que los cárteles, como conductas colusorias en oligopolio, se estructuran en entorno a dos características principales, en primer lugar, la existencia de un poder de monopolio real, basado en una curva de demanda altamente inelástica, y, en segundo lugar, la creación física de una organización, por medio de la cual se estructuran los niveles de precios en función de la producción de bienes escasos. No obstante, la posibilidad de que el mercado varíe con la concurrencia de nuevos miembros, así como las posibles injerencias en posprecios por factores externos, pueden generar inestabilidad y falta de consenso en los acuerdos que marcan este tipo de estructuras.

La OPEP fue fundada el 14 de septiembre de 1960 por cinco países productores y exportadores de petróleo: Irán, Irak, Kuwait, Arabia Saudí y Venezuela. Los motivos que realmente llevaron a la creación de este cártel fueron los enfrentamientos entre las multinacionales petroleras que buscaban maximizar sus ganancias y controlar los precios, por un lado, y los países productores de crudo, por otro, que buscaban cartelizar el precio mediante el control de las cuotas.

El transporte de gas por tubería genera una situación de monopolio, tanto por parte del país de origen como de los países por donde transita. Asimismo, se oye hablar sobre la posible creación del denominado cartel del gas –también conocido como la OPEP del gas–. En principio estaría formado por Rusia, que tiene un 32% de las reservas mundiales, Irán con un 16%, Qatar con un 14% y Argelia con un 3%, lo que supondría estar hablando del 64% del total de la producción mundial. Asimismo, parece ser que Rusia ha intentado que esta estructura se consolide por medio de la entrada de otros países como Noruega, Libia, países ex-soviéticos de Asia Central e Irán, además de la presencia de Venezuela. El Foro de Países Exportadores de Gas (FPEG) se creó en 2001 en Teherán y está integrado por Rusia, Irán, Argelia, Indonesia, Malasia, Qatar, Venezuela, Brunei, Trinidad y Tobago, Omán, Egipto, Libia, Emiratos Árabes Unidos, Nigeria y Bolivia. Estos países poseen más del 70% de las reservas mundiales de gas natural y controlan más del 40% del que se comercializa anualmente en el mundo.

Por otro lado, hay que tener presente que España tan sólo dispone de reservas energéticas de carbón, uranio y renovables de origen solar. El carbón ha sido la energía primaria de más rápido crecimiento a escala mundial: el consumo total experimentaba un aumento del 5% en el año 2005 y otro tanto en el 2006, lo que supone aproximadamente duplicar la subida media anual en los últimos 10 años. En lo que respecta al consumo de este combustible, hay que destacar que China, como primer consumidor mundial, ha incrementado el consumo del carbón y como consecuencia de ello el precio de esta energía primaria se ha visto incrementado de manera notable.

No obstante, el hecho de ser el carbón un combustible que no está sujeto a movimientos especulativos, lo que sí sucede en los mercados de otros combustibles, ha hecho que su utilización se haya visto incrementada de manera notable, además de encontrarse en muchas más localizaciones geográficas que el petróleo, por ejemplo. Al hablar de las reservas de carbón, nos encontramos que España tiene una importancia relativa elevada en la producción de este combustible. Solamente el 41,1% de las reservas se encuentran en la OCDE, mientras que en España tenemos un total de 530 millones de toneladas de este tipo de combustible.

Respecto a la posibilidad de almacenar *stocks* estratégicos CORES mantiene y gestiona *stocks* estratégicos de petróleo para 30 días de consumo, con un margen complementario del 10%, quedando las restantes reservas pertenecientes a un intervalo de 60 días de consumo, en manos de operadores del sector, y contando, además, con el apoyo, en cuanto a infraestructura para almacenamiento físico, de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH).

La empresa encargada de la logística y de la gestión del almacenamiento de las reservas de gas natural en España es Enagas, que es el gestor técnico del sistema, encargado de llevar a cabo la gestión integral y la coordinación de todos los agentes intervinientes en el mismo. También Enagas se encarga de parte del transporte, regasificación y almacenamiento, junto con otras compañías del sector. España carece de suficientes almacenamientos subterráneos para consignar unas reservas estratégicas y de seguridad que permitan un margen holgado para los casos en los que se produzcan disfunciones en la entrada del producto a España, si bien se está haciendo un esfuerzo para lograr maximizar esta posición. El gas se almacena en el subsuelo, normalmente aprovechando antiguos yacimientos e inyectándose en acuíferos profundos, o bien introduciéndolo en cavidades generadas por formaciones salinas. Enagas tiene la gestión de dos almacenamientos subterráneos, Serrablo y Gaviota. En Serrablo se cuenta con un gas inmovilizado de 280 millones de metros cúbicos y con una cantidad de gas útil de 820 millones de metros cúbicos. Por su parte, Gaviota cuenta con 1.135 millones de metros cúbicos de gas inmovilizado, con 1.346 millones de metros cúbicos de gas útil. En ambos yacimientos y durante el año 2006 se han sumado 200 millones de metros cúbicos más en cada uno de ellos. Las inversiones llevadas a cabo por las empresas del sector para mejorar tanto la logística como la distribución final se sitúa en más de 7.278 millones de euros, logrando también no sólo la ampliación y la mejora de la red de transporte, sino además el aumento de las capacidades de regasificación y de almacenamiento.

En una comparativa sobre la tecnología energética empleada para generar Energía, España está presente en casi todas las estructuras de generación energética mediante energías renovables. Esto hace que España se encuentre a la cabeza por el gran potencial solar del que disponemos junto con otros países europeos en la producción de este tipo de energías, lo que no es óbice para dejar de insistir en la necesidad de estructurar



correctamente, esto es, fiscal, económica y legalmente, todo el sector de la producción energética.

## La energía nuclear

Hay que tener presente que los costes de producción de la energía en España se incrementarán significativamente en el futuro como consecuencia del aumento de la demanda mundial y de las restricciones medioambientales, especialmente por la necesidad de adquirir “derechos de emisión” de CO<sub>2</sub>, puesto que España supera ampliamente los límites establecidos por el protocolo de Kyoto. Tales circunstancias hay que tenerlas muy presentes de cara a seleccionar el *mix* de energías con las que podemos contar, especialmente si tenemos en cuenta que conviene diversificar nuestras fuentes de suministro, puesto que están excesivamente concentradas en el petróleo. Las energías renovables poseen unas características que las hacen muy atractivas, pero son dispersas, aleatorias y muy caras, por lo que necesitan el apoyo de fuertes subvenciones para su mantenimiento. Ante este panorama, parece lógico e inevitable contar con el recurso de la energía nuclear de fisión. Esta fuente de energía cumple con todas las medidas de seguridad necesarias para evitar efectos graves en caso de producirse algún accidente; si bien es cierto que exige la solución definitiva de algunos problemas, como el depósito de los residuos radiactivos de alta actividad, para lo que la tecnología de transmutación está mejorando significativamente. En cualquier caso, además de los retos técnicos y tecnológicos, los dos riesgos fundamentales que afectan a la energía nuclear son los derivados de los altos tipos de interés, al ser una actividad intensiva en capital, y del riesgo regulatorio y político, por tratarse de una inversión a 70 años, 10 de construcción y el resto de explotación.

En lo referente a las reservas, producción y necesidades de uranio como combustible básico para la generación energética en las centrales nucleares, se debe comentar que la producción mundial fue de 41.595 Tm en 2005, lo que supone un incremento del 16,3% interanual según el Foro de Energía Nuclear. Canadá se posiciona en el primer lugar de la producción mundial de uranio con un total del 28%, seguida de Australia con un 22,8%.

### *Posibilidades de la energía nuclear*

En cuanto a las reservas mundiales de uranio, se estiman en un total de 2.643.343 toneladas de metal a finales de 2005, de las cuales el 27% se encuentra en Australia, el 14% en Kazajistán, el 13% en Canadá y el 7% en Sudáfrica. En Europa nos encontramos con sólo un 1,2% de las reservas mundiales. Como se muestra en la Tabla 4, España cuenta con unas reservas de este combustible de notable importancia, que incluyen un gran potencial energético por su gran intensidad en comparación con otras energías.

**Tabla 4. Factores de reflexión: densidad de energía**

Toneladas de combustible que se necesitan anualmente en una central de 1000 Mwe	
Carbón	2.600.000 Tm / 2.000 vagones
Petróleo	2.000.000 Tm / 10 supertanques
Uranio	30 Tm / 10 m3 (núcleo del reactor)
Electricidad producida por un kilo de combustible	
1 kg madera	1 kW/h electricidad
1 kg carbón	3 kW/h electricidad
1 kg petróleo	4 kW/h electricidad
1 kg uranio	50.000 kW/h electricidad

Desde el punto de vista económico, presenta grandes ventajas, puesto que genera un kilovatio/hora más barato, incluso repercutiendo el tratamiento del combustible irradiado y los costes de desmantelación de la central. El coste de producción de las centrales nucleares (Tabla 7) es notablemente inferior al coste de la generación por carbón, en torno al 40% menos, y es mucho menos costoso que la tecnología de ciclo combinado. Para una central nueva se necesitaría una inversión del orden de 4.000 millones de dólares para 1.000 Mwe; esto mantendría la competitividad de esta energía, puesto que se amortizaría entre 50 y 60 años de operación, que tendría que ser de un mínimo de 5.000 horas anuales. Esta eficiencia en términos relativos mejoraría si, como parece previsible, se siguiera incrementando el precio de los combustibles fósiles.

Asimismo, es muy poco sensible a la evolución de los precios del uranio, al tratarse de una energía intensiva en capital. Si se duplicara el coste total del ciclo del combustible nuclear, el impacto tan sólo sería de un 20% y del 3,2% si sólo se duplicase el precio del uranio. Por el contrario, su principal desventaja estaría relacionada con los altos tipos de interés; sin embargo, de cara al futuro, las perspectivas de inflación y por tanto de la evolución de los tipos de interés son a la baja, como consecuencia del actual perfeccionamiento de los mercados globalizados, que gracias a su mayor eficiencia reducen los riesgos inflacionistas y permiten una política monetaria menos estricta.

Para España, la energía nuclear cuenta con la ventaja adicional que supone la garantía del suministro, puesto que en las centrales el combustible se recarga cada 12-18 meses, y además éste tiene un alto grado de componente nacional. España ha participado en más de un 60% en la construcción de las centrales nucleares que se encuentran actualmente en explotación; pero, sobre todo, tenemos importantes reservas de uranio y cubrimos todo el ciclo del combustible con producción o participación nacional, lo que reduce en gran medida nuestra vulnerabilidad, además del potencial del *stock* básico de uranio, un *stock* de garantía. Otra ventaja comparativa de esta fuente energética es el hecho de que el proceso de generación de energía es físico, y no químico: no hay combustión por lo que, lógicamente, no se emite CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Esta circunstancia constituye un elemento clave y es la razón que está impulsando la construcción de nuevas centrales nucleares en países tan preocupados por el medio ambiente como Finlandia. Asimismo, para España significa un gran ahorro en derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, puesto que al superar ampliamente los límites acordados en Kyoto, España se ve obligada a comprar derechos



de emisión por un valor de entre 1.000 millones y 2.000 millones de euros anuales. Por tanto, el cierre de algún grupo nuclear de los que se encuentran actualmente en producción incrementaría sensiblemente “la factura”.

**Tabla 5. Emisiones que se evitan anualmente con la producción de electricidad nuclear**

País	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Bélgica	53.000 TM	33 Millones de TM	52.000 TM
Finlandia	14.800 TM	18,6 Millones de TM	13.300 TM
Francia	2 Millones de TM	300 Millones de TM	1.1 Millones de TM
Alemania	96.000 TM	158 Millones de TM	118.000 TM
Holanda	0	1,5 Millones de TM	No aplicable
España	334.400 TM	45,6 Millones de TM	167.200 TM
Suecia	ND	61 Millones de TM	ND
Suiza	69.000 TM (SO <sub>x</sub> )	20,7 Millones de TM	26.000 TM
Reino Unido	ND	62 Millones de TM	ND
<b>TOTAL</b>		<b>700,4 Millones de TM</b>	

Por todas estas razones es imprescindible contar con todas las centrales nucleares que se encuentran actualmente operativas. Por todo lo argumentado, ha sido un error llevar a cabo el cierre de la central nuclear de Zorita. Además, se debe dilatar la vida útil de todo el parque de centrales, comenzando por Santa María de Garoña, cuya autorización de operación es la primera que corre el peligro de caducar. Actualmente en España se encuentran operativas ocho centrales nucleares, como se observa en la Tabla 6, con una potencia conjunta de 7.700 Mwe, que cubre el 19% de la demanda de energía primaria. Esta participación energética es mucho mayor en países como Francia, EEUU y Japón. Actualmente operan en el mundo 443 centrales localizadas en 31 países, que suponen una potencia conjunta de 369.728 Mwe. De cara al futuro habrá que ir pensando en la creación de nuevas centrales nucleares en España, por lo que parece lógico el mantenimiento de los emplazamientos que actualmente tienen esta calificación, como Zorita y Valdecaballeros. La energía nuclear mantiene su expansión en el mundo tras el “parón” de hace unos años. En estos momentos se están construyendo 25 grupos nucleares nuevos en 11 países para garantizar la creciente demanda de energía eléctrica y para reducir el impacto medioambiental. En definitiva, por diversas razones estratégicas, económicas y ecológicas España debe contar con la energía nuclear presente y futura.

**Tabla 6. Centrales nucleares operativas en España**

Nombre	Tipo	Localización	Mwe netos	Mwe brutos	Conectada
Almaraz-1	PWR	Cáceres	944	977	01/V/1981
Almaraz-2	PWR	Cáceres	956	980	08/X/1983
Ascó-1	PWR	Tarragona	995	1033	13/VIII/1983
Ascó-2	PWR	Tarragona	997	1027	23/X/1985
Cofrentes	BWR	Valencia	1.064	1092	14/X/1984
S.M. de Garoña	BWR	Burgos	446	466	02/III/1971
Trillo	PWR	Guadalajara	1.003	1066	23/V/1988
Vandellós-2	PWR	Tarragona	1.045	1087	12/XII/1987

Fuente: IEE, IAEA.

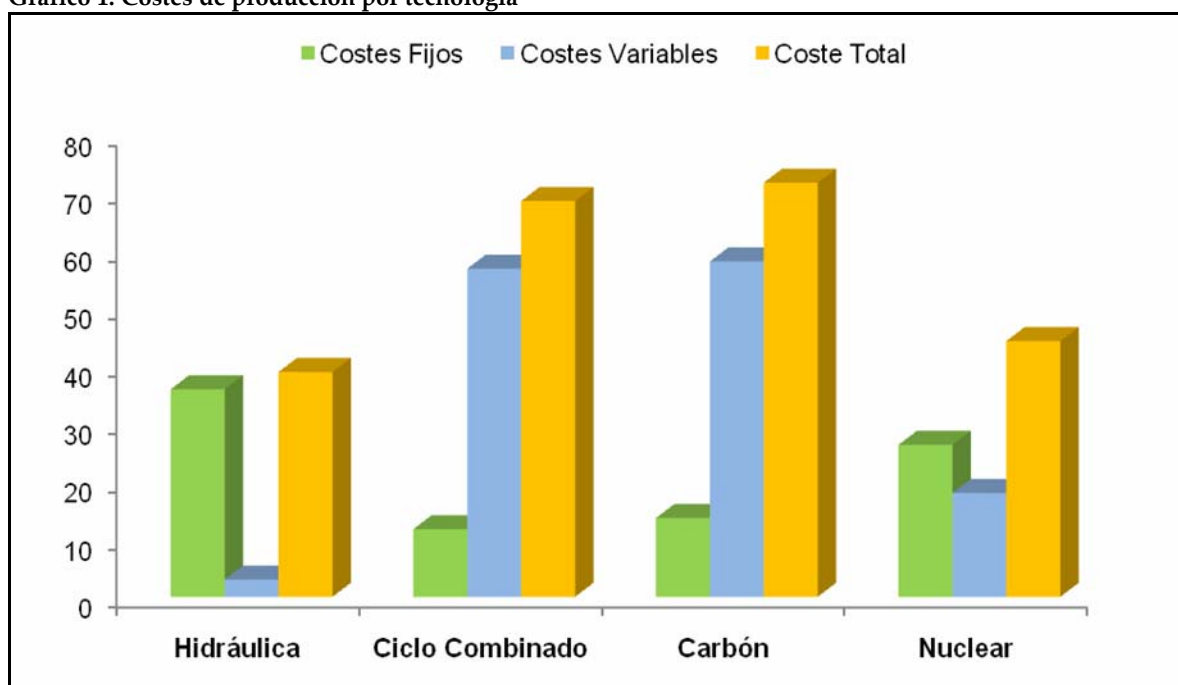
**Tabla 7. Estimación del coste de producción por tecnología en régimen ordinario, tercer trimestre de 2008**

Tecnología	Costes fijos (€/MWh)	Costes variables (€/MWh)	Coste total (€/MWh)
Hidráulica	36,00	3,0	39,00
Ciclo combinado	11,73	56,91	68,64
Carbón	13,67	58,16	71,83
Nuclear	26,37	18,0	44,37
Total	18,33	42,83	61,16

Nota: en relación con el coste correspondiente a la última fase del ciclo de combustible nuclear cabe señalar que comprende, por una parte, la gestión futura de los residuos radiactivos y, por otra, el correspondiente coste de clausura y desmantelamiento de una central.

Fuente: CNE, IEE.

**Gráfico 1. Costes de producción por tecnología**



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la CNE.

### Coste por Kw de origen nuclear

En cuanto a la construcción de una nueva central nuclear, el estudio de costes más completo es el de Tarjanne y Rissanen (*Nuclear Power: Least-Cost Option for Baseload*

*Electricity in Finland*). Estos autores estiman que la inversión inicial ascendería a unos 2.000 millones de dólares para 1.000 Mwe, que se materializan durante cinco años. Es cierto que esta cifra se incrementa significativamente si se alarga el período de construcción. No obstante, en el caso español es difícil que el período fuese tan corto. Aún así, como el coste de capital estimado en la simulación es muy alto dadas las condiciones financieras actuales (y posiblemente futuras), habría que ajustar los cálculos en este sentido. Así, los datos obtenidos en la Tabla 8 sí que pueden ser considerados como representativos, en particular la comparación con un empleo anual de 8.000 h., que se ajusta bastante a experiencias pasadas, por ejemplo las observadas en la explotación de las centrales nucleares españolas actualmente en funcionamiento.

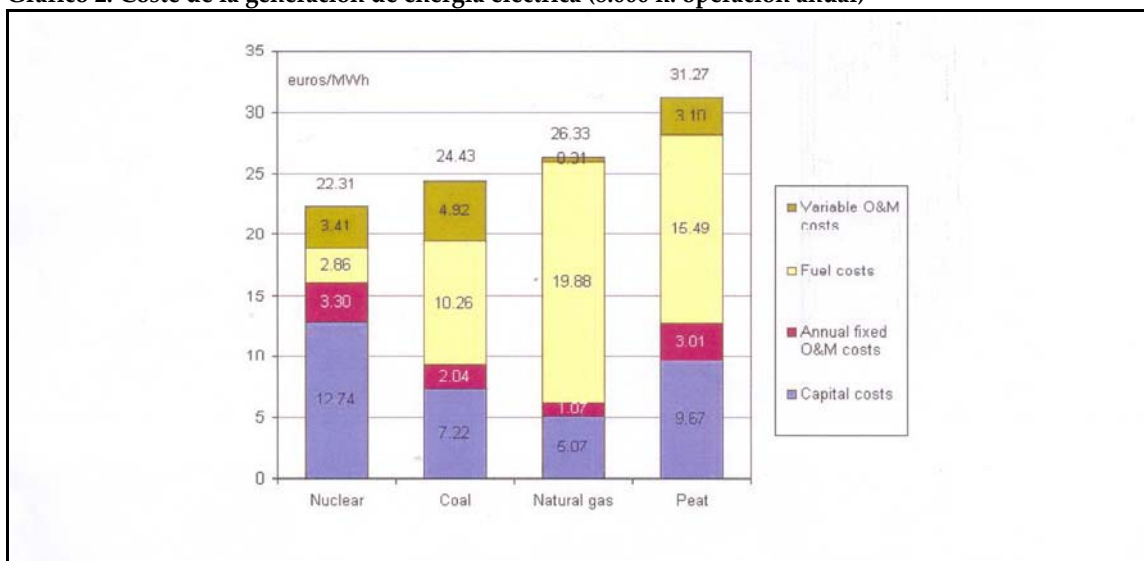
**Tabla 8. El coste comparativo de nuevas plantas generadoras**

	MIT (2003) \$	DGEMP (2003) euros	T&L (2003) euros	RAE (2004) £	UofC (2004) \$	CERI (2004) Can\$
<b>Capital Cost per kW</b>						
Nuclear	2000	1280	1900	1150	1500	2347
Gas	500	523	600	300	590	711
Coal	1300	1281	860	820	1189	1600
<b>Construction period - years</b>						
Nuclear	5	5	5	5	5	5
Gas	2	2	2	2	2	2
Coal	4	3	3	4	4	4
<b>Cost of capital or D rate %</b>						
Nuclear	11.5	8	5	7.5	12.5	8
Gas	9.6	8	5	7.5	9.5	8
Coal	9.6	8	5	7.5	9.5	8
<b>Gas price</b>	3.50/MBTU	3.30/MBTU	3.00/GJ	2.18/GJ	3.39/MBTU	6.47/Mcf
<b>Electricity price per MWh</b>						
Nuclear	67	28	24	23	51	53
Gas	38	35	32	22	33	72
Coal	42	34	28	25	35	48
<b>Electricity price, nuclear = 100</b>						
Nuclear	100	100	100	100	100	100
Gas	57	125	133	96	65	136
Coal	63	121	117	109	69	89

Sources: see Appendix

IEA & OECD-NEA (2005) is excluded from the table owing to the difficulty of showing all the country-level results in similar tabular form. Nevertheless, this is a very interesting report as it highlights the increasing competitiveness of nuclear since the previous report in 1998, owing mainly to improved operating performances by nuclear plants and to higher fossil fuel price expectations. A summary of the results (see Table 4) shows that, even at a 10% discount rate, nuclear is the cheapest option in the majority of countries.

**Gráfico 2. Coste de la generación de energía eléctrica (8.000 h. operación anual)**



### *Participación nacional en el Kwh de origen nuclear*

El nivel de participación nacional en el Kwh de origen nuclear generado en España, se obtiene ponderando el peso relativo de la inversión, el combustible y el mantenimiento por el grado de participación nacional en cada uno de ellos. Según el estudio realizado por Ricardo Novillo Allones, el nivel de participación nacional en la construcción de centrales nucleares de la segunda generación fue del orden del 67%-70%, mientras que en el caso de las de tercera generación este porcentaje alcanzó el 85%. Para el presente análisis se considerará un nivel conservador, correspondiente a reactores de la segunda generación.

Para obtener el grado de participación en el ciclo del combustible nuclear, es necesario ponderar el peso de cada una de las etapas por la participación nacional en cada una de ellas. En este análisis se consideran dos casos para cada una de las hipótesis de demanda. En primer lugar, se estima que el reprocesado se contrata en el extranjero y en el segundo caso se considera una participación nacional en una planta española de reprocesado de un 35%. En la Tabla 9 se detalla tanto el grado de participación nacional para cada uno de los procesos en ambas hipótesis como el peso de cada una de las etapas en el ciclo del combustible. No considerando la participación nacional en el ciclo del combustible nuclear, para el caso de la hipótesis de demanda alta es de un 27,56%, mientras que en la hipótesis baja es de un 29,35%. Si se considera una participación nacional del 35% en la etapa de reprocesado, el grado total de participación nacional para el caso de la hipótesis alta es de un 35,38%, mientras que para la hipótesis baja éste alcanza el 37,85%. Para el presente estudio se tomará el grado mínimo de participación, que es de un 27,56%.

**Tabla 9. Participación nacional en el ciclo del combustible nuclear en España**

	Participación nacional (%)		Peso de la etapa en el ciclo (%)
	Hipótesis alta	Hipótesis baja	
Exploración	100	100	0,67
Minería	33,2	44	17,98
Conversión	0	0	1,34
Enriquecimiento	0	0	27,26
Fabricación	48,9	52,4	11,61
Transp. + seg. + otros F.E.	20,9	24,9	2,93
Almacén en central	100	100	1,06
Almacén centralizado	100	100	7,32
Reprocesado	0-35	0-35	22,36
Evac. def. residuos	100	100	5,49
Transp.+ seg. + otros B.E.	38,3	38,3	1,98

Nota: la participación nacional en el transporte, seguros y otros es la media ponderada para el *front-end* y *back-end* del resto de los procesos.

Fuente: elaboración propia.

Por lo que se refiere a la operación y mantenimiento de las centrales nucleares, se cuenta con la experiencia directa adquirida por el personal que ha intervenido e interviene en la explotación de las centrales de Zorita, Garoña, Vandellós I y Almaraz I. Estas centrales constituyen, además, un lugar idóneo para el entrenamiento de personal para otras centrales y de hecho han contribuido y están contribuyendo eficazmente a este fin.

Además, cabe destacar que desde 1978 España cuenta con un centro de adiestramiento dotado con dos simuladores de centrales nucleares (TECNATOM) donde se imparten cursos de tecnología y de prácticas de operación a técnicos de explotación de centrales de agua ligera, a presión y en ebullición.

En lo referente al mantenimiento, desde 1979 corre a cargo de la empresa Equipos Nucleares SA. En el seguro de riesgos nucleares existe un consorcio participado en su mayoría por empresas españolas.

Asimismo, durante los últimos años se han venido aplicando en España las técnicas de garantía y control de calidad nuclear de forma que actualmente se cuenta con personal cualificado para llevar a cabo el control de calidad y aplicar los criterios de garantía de calidad exigidos por la industria nuclear.

El nivel medio de participación nacional en la operación y mantenimiento de las centrales nucleares españolas es del 90%. Como consecuencia de todo lo expuesto en este epígrafe, el nivel mínimo de participación nacional en la energía generada por los reactores españoles de gran potencia se obtiene ponderando los valores que se muestran en la Tabla 10:



**Tabla 10. Participación nacional**

	Participación nacional en el proceso (%)	Participación nacional en Kwh (%)
Inversión	65	72,13
Combustible	27,56	23,06
Operación y mantenimiento	90	4,81

El nivel de participación nacional en un Kwh de origen nuclear es el 57,57% y por tanto es necesario importar el 42,43% del mismo.

Es posible que ante el largo período de parón nuclear, en España se puedan haber desmantelado algunos equipos y empresas en el proceso de inversión, con lo que la participación nacional sería difícil que actualmente se acercase al de las centrales de la tercera generación.

## Conclusión

En definitiva, la energía nuclear, una actividad intensiva en capital, tanto financiero como humano y tecnológico, soporta fundamentalmente desde el punto de vista económico, tres grandes riesgos: (1) los altos tipos de interés; (2) el riesgo regulatorio; y (3) el alargamiento excesivo del período de construcción.

Sin embargo, presenta la ventaja de ser muy competitiva en una explotación en condiciones normales respecto a otras fuentes de energía. Asimismo, su coste total es poco sensible a la evolución del precio de las materias primas frente al resto, circunstancia más probable que una fuerte elevación de los tipos de interés. Además, emplea un recurso abundante, el uranio, que se puede optimizar en reactores rígidos reproductores o con elementos combustibles mixtos “uranio/plutonio” en reactores PWR o BWR.

Desde el punto de vista de los costes también presenta la ventaja de no emitir CO<sub>2</sub> durante su explotación. Respecto a la garantía de suministro para reducir la vulnerabilidad energética española, se trata de una energía de un alto nivel de participación nacional, del orden del 65%, como establecí en mi tesis doctoral “La economía del ciclo del combustible nuclear en España”. Esta participación es alta, tanto en la construcción de la central como en el total del ciclo del combustible nuclear, puesto que España es rica en recursos de uranio.

En definitiva, la potencia nuclear presente y la posibilidad de construir entre tres y 10 nuevas centrales nucleares en España resulta fundamental en el *mix* energético para la garantía de suministro. Asimismo, cuando se desarrolle la pila de hidrógeno para transporte, la energía nuclear será muy adecuada para producir hidrógeno en condiciones de rentabilidad adecuadas y, por tanto, también puede ser una alternativa al fuel y la gasolina.

*Juan E. Iranzo*

*Director general del Instituto de Estudios Económicos y catedrático de Economía Aplicada*